

JUN 07 2004

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Hin OH, et al.

GAU:

SERIAL NO: 10/727,604

EXAMINER:

FILED: December 5, 2003

FOR: PLASMA PROCESSING METHOD AND APPARATUS

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS  
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e): Application No. Date Filed
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
JAPAN	2002-353452	December 5, 2002

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number  
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s)  
☐ are submitted herewith  
☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.

*Edwin D. Spivak*

Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

Customer Number

22850

Tel. (703) 413-3000  
Fax. (703) 413-2220  
(OSMMN 05/03)

10/727,604

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 2 年 1 2 月    5 日  
Date of Application:

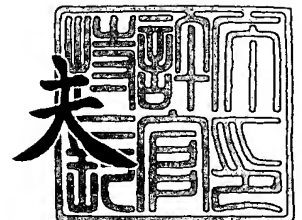
出 願 番 号            特 願 2 0 0 2 - 3 5 3 4 5 2  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [ J P 2 0 0 2 - 3 5 3 4 5 2 ]

出      願      人            東京エレクトロン株式会社  
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 1 月 2 7 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号    出証特 2 0 0 3 - 3 0 9 8 1 5 6

【書類名】 特許願

【整理番号】 TYL02017

【提出日】 平成14年12月 5日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 G06F 17/60

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目 3 番 6 号 T B S 放送センター  
東京エレクトロン株式会社内

    【氏名】 王 斌

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目 3 番 6 号 T B S 放送センター  
東京エレクトロン株式会社内

    【氏名】 三村 裕一

【特許出願人】

    【識別番号】 000219967

    【氏名又は名称】 東京エレクトロン株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100095957

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 亀谷 美明

    【電話番号】 03-5919-3808

【選任した代理人】

    【識別番号】 100096389

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 金本 哲男

    【電話番号】 03-3226-6631

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100101557

【弁理士】

【氏名又は名称】 萩原 康司

【電話番号】 03-3226-6631

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 040224

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9602173

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 プラズマ処理方法及びプラズマ処理装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 プラズマ処理装置により処理室内の被処理体に対してプラズマ処理を施す際に、プラズマから発光された光を解析し、その解析結果に基づいてプラズマ処理装置の運転状態および／または被処理体の処理状態を監視するプラズマ処理方法であって、

前記被処理体に対してプラズマ処理を行う際にプラズマから発光された発光スペクトルを光学的データとして取得する工程と、

複数の発光種の発光スペクトルを基準データとして記憶したデータベースからの各発光種の基準データを用いて、取得した前記光学的データから各発光種の定量データを求める工程と、

前記各発光種の定量データを監視し、各発光種の定量データの変化に基づいてプラズマ処理装置の運転状態および／または被処理体の処理状態を判断する工程と、

を有することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 2】 前記データベースは、複数の処理条件でプラズマ処理を行ってプラズマから発光された発光スペクトルを光学的データとして取得する工程と、取得した光学的データを多変量解析により複数の発光種の発光スペクトルに分離して、この分離した各発光種の発光スペクトルを基準データとして記憶する工程とにより予め作成されるものであることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 3】 前記多変量解析は、独立成分分析であり、各発光種の発光スペクトルは、前記独立成分分析により得られた独立成分であることを特徴とする請求項 2 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 4】 前記独立成分分析による独立成分の数は、少なくともプラズマ処理で使用する処理ガスのガス種の数以上であることを特徴とする請求項 3 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 5】 前記データベースは、実際のプラズマ処理を行うプラズマ処

理装置とは別のデータベース作成手段により作成されることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載のプラズマ処理方法。

【請求項 6】 前記各発光種の定量データを求める工程は、プラズマ処理により取得した発光スペクトルの光学的データと、前記データベースからの各発光種の基準データとの内積をそれぞれ求め、各内積値を各発光種の定量データとすることを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれかに記載のプラズマ処理方法。

【請求項 7】 前記プラズマ処理装置の運転状態を判断する工程は、前記プラズマ処理装置によりプラズマ処理を開始してから、前記各発光種の定量データが一定になったときに前記プラズマ処理装置の運転状態が安定したと判断する請求項 1 ～ 6 のいずれかに記載のプラズマ処理方法。

【請求項 8】 前記被処理体の処理状態を判断する工程は、前記各発光種の定量データの変化に基づいて前記被処理体に対するプラズマ処理が終了したことを判断する請求項 1 ～ 6 のいずれかに記載のプラズマ処理方法。

【請求項 9】 処理室内の被処理体に対してプラズマ処理を施す際に、プラズマから発光された光を解析し、その解析結果に基づいてプラズマ処理装置の運転状態および／または被処理体の処理状態を監視するプラズマ処理方法であって

前記被処理体に対してプラズマ処理を行う際にプラズマから発光された発光スペクトルを光学的データとして取得する手段と、

複数の発光種の発光スペクトルを基準データとして記憶したデータベースからの各発光種の基準データを用いて、取得した前記光学的データから各発光種の定量データを求める手段と、

前記各発光種の定量データを監視し、この各発光種の定量データの変化に基づいてプラズマ処理装置の運転状態および／または被処理体の処理状態を判断する手段と、

を設けたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 1 0】 前記データベースは、複数の処理条件でプラズマ処理を行ってプラズマから発光された発光スペクトルを光学的データとして取得する手段と、取得した光学的データを多変量解析により複数の発光種の発光スペクトルに

分離して、この分離した各発光種の発光スペクトルを基準データとして記憶する手段とにより予め作成されたものであることを特徴とする請求項 9 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 1 1】 前記多変量解析は、独立成分分析であり、各発光種の発光スペクトルは、前記独立成分分析により得られた独立成分であることを特徴とする請求項 1 0 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 1 2】 前記独立成分分析による独立成分の数は、少なくともプラズマ処理で使用する処理ガスのガス種の数以上であることを特徴とする請求項 1 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 1 3】 前記データベースは、実際のプラズマ処理を行うプラズマ処理装置とは別のデータベース作成手段により作成されたことを特徴とする請求項 9 ～ 1 2 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 1 4】 前記各発光種の定量データを求める手段は、プラズマ処理により取得した発光スペクトルの光学的データと、前記データベースからの各発光種の基準データとの内積をそれぞれ求め、各内積値を各発光種の定量データとすることを特徴とする請求項 9 ～ 1 3 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 1 5】 前記プラズマ処理装置の運転状態を判断する手段は、前記プラズマ処理装置によりプラズマ処理を開始してから、前記各発光種の定量データが一定になったときに前記プラズマ処理装置の運転状態が安定したと判断する請求項 9 ～ 1 3 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 1 6】 前記被処理体の処理状態を判断する手段は、前記各発光種の定量データの変化に基づいて前記被処理体に対するプラズマ処理が終了したことを判断する請求項 9 ～ 1 3 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0 0 0 1】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、プラズマ処理方法及びプラズマ処理装置にかかり、より詳しくはプラズマにより発光した光を解析し、解析結果に基づいて装置の運転状態、被処理体の処理状態などを監視するプラズマ処理方法及びプラズマ処理装置に関する。

**【0 0 0 2】****【従来の技術】**

従来、半導体ウエハなどの被処理体に対してエッチングなどのプラズマ処理を施すプラズマ処理装置としては、エッチングにより発生するプラズマから発光した光の発光強度を監視し、この発光強度に基づいて装置の運転状態や被処理体の処理状態を監視しているものがある。例えば被処理体の処理状態を監視するものとして例えばエッチングの終点（エンドポイント）を検出する技術が開示されている（例えば特許文献 1 参照）。

**【0 0 0 3】**

この技術は、プラズマ処理によるプロセスガスの活性種の発光強度及び反応性生成物の発光強度を検出し、これら 2 つの波長の発光強度の比に基づいてエッチングの終点（エンドポイント）を検出するものである。すなわち、エッチング対象物がなくなってエッチングが終了すると、その時点で反応に寄与するプロセスガスの活性種の量が増加してこの活性種の発光強度が増加するのに対して、反応生成物の量は減少するので反応生成物の発光強度は減少する。このことを利用して、プロセスガスと反応生成物についての発光強度の比の変化を検出することにより、エッチング終点を正確に検出することができるものである。

**【0 0 0 4】****【特許文献 1】**

特開平 5 - 2 9 2 7 6 号公報

**【発明が解決しようとする課題】**

近年では、半導体装置のさらなる微細化の傾向に伴い、例えば半導体ウエハ上に形成するホールなども開口率のさらに小さいものが要求されている。ところが、上記のようにプロセスガスの活性種と反応生成物の 2 つの波長のみの変化を監視するものでは、エッチング終点の検出など処理状態の検出精度をより高めるには十分ではなかった。

**【0 0 0 5】**

また、プラズマの波長を検出するセンサにノイズが混入した場合には、エッチング終点の判断、プラズマ処理装置の処理室内でプラズマが安定したか否かの判



断などを正確に行うことができなくなり、被処理体の処理状態や半導体製造装置の運転状態を判断するときの精度が低下する。

#### 【 0 0 0 6 】

そこで、本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、装置の運転状態、被処理体の処理状態を判断するときの精度を向上させることができるプラズマ処理方法及びプラズマ処理装置を提供することにある。

#### 【 0 0 0 7 】

##### 【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明のある観点によれば、プラズマ処理装置により処理室内の被処理体に対してプラズマ処理を施す際に、プラズマから発光された光を解析し、その解析結果に基づいてプラズマ処理装置の運転状態および／または被処理体の処理状態を監視するプラズマ処理方法であって、前記被処理体に対してプラズマ処理を行う際にプラズマから発光された発光スペクトルを光学的データとして取得する工程と、複数の発光種の発光スペクトルを基準データとして記憶したデータベースからの各発光種の基準データを用いて、取得した前記光学的データから各発光種の定量データを求める工程と、前記各発光種の定量データを監視し、各発光種の定量データの変化に基づいてプラズマ処理装置の運転状態および／または被処理体の処理状態を判断する工程とを有することを特徴とするプラズマ処理方法が提供される。

#### 【 0 0 0 8 】

上記課題を解決するために、本発明の別の観点によれば、処理室内の被処理体に対してプラズマ処理を施す際に、プラズマから発光された光を解析し、その解析結果に基づいてプラズマ処理装置の運転状態および／または被処理体の処理状態を監視するプラズマ処理方法であって、前記被処理体に対してプラズマ処理を行う際にプラズマから発光された発光スペクトルを光学的データとして取得する手段と、複数の発光種の発光スペクトルを基準データとして記憶したデータベースからの各発光種の基準データを用いて、取得した前記光学的データから各発光種の定量データを求める手段と、前記各発光種の定量データを監視し、この各発

光種の定量データの変化に基づいてプラズマ処理装置の運転状態および／または被処理体の処理状態を判断する手段とを設けたことを特徴とするプラズマ処理装置が提供される。

#### 【0009】

このような本発明にかかる方法又は装置によれば、複数の発光種の発光スペクトルからなる基準データを用いるので、単に特定の波長のデータを用いる場合に比してより広範囲の波長帯のデータに基づいて例えばエッチング終点の判断、プラズマ処理装置の処理室内でプラズマが安定したか否かの判断を行うことが可能となる。このため、例えば半導体ウエハ上に開口率のさらに小さいホールなどを形成する場合のように半導体装置をさらに微細化する場合にも、エッチング終点の判断、プラズマ処理装置の処理室内でプラズマが安定したか否かの判断などを正確に行うことができる。これにより、プラズマ処理装置の運転状態や被処理体の処理状態の監視精度を向上させることができる。

#### 【0010】

また、各発光種の発光スペクトルが混合した光学的データを各発光種の定量データに分離して、各定量データに基づいてエッチング終点やプラズマ安定の判断を行うため、例えば光学的データに自然光によるバックグラウンドノイズやプラズマ光を検出するCCD (Charge Coupled Device) センサ内の暗電流の影響によるノイズなどが混入していたとしても、このようなノイズの影響を受けることなくプラズマ処理装置の運転状態や被処理体の処理状態の判断を行うことができる。これによっても、プラズマ処理装置の運転状態や被処理体の処理状態の監視精度を向上させることができる。

#### 【0011】

さらに、プラズマ処理を行う際にプラズマから発光された発光スペクトル（光学的データ）を取得し、データベースに記憶された各発光種の発光スペクトル（基準データ）に基づいて各発光種の定量データを求め、これによりプラズマ処理装置の運転状態などを判断するため、プラズマ処理を行う際にリアルタイムにプラズマ処理装置の運転状態や被処理体の処理状態の判断を行うことができる。

#### 【0012】

また、上記方法又は装置において、上記データベースは、複数の処理条件でプラズマ処理を行ってプラズマから発光された発光スペクトルを光学的データとして取得する工程又は手段と、取得した光学的データを多変量解析により複数の発光種の発光スペクトルに分離して、この分離した各発光種の発光スペクトルを基準データとして記憶する工程又は手段とにより予め作成されるものであってもよい。また、上記多変量解析は、独立成分分析であり、各発光種の発光スペクトルは、前記独立成分分析により得られた独立成分であってもよい。さらに、上記独立成分分析による独立成分の数は、少なくともプラズマ処理で使用する処理ガスのガス種の数以上であることが好ましい。

#### 【0013】

これによれば、データベースを作成する場合に、各発光種の発光スペクトルが混合した光学的データを各発光種の発光スペクトルに分離するため、光学的データにノイズが混入していたとしても、ノイズの影響を受けることなくデータベースを作成することができる。特に独立成分分析を利用することにより、ノイズの影響をより効果的になくすることができる。

#### 【0014】

また、実際のプラズマ処理では、単一の処理ガスをプラズマ化しても、処理室内での反応などにより他の発光種が発生して混ざってしまうことが多いため、各発光種の発光スペクトルを光学計測器などで直接検出するのは困難である。これに対して、本発明では、光学的データに対して独立成分分析を行って得られた独立成分を各発光種の発光スペクトルの基準データとすることにより、発光スペクトルを直接計測しただけでは得られない各発光種の発光スペクトルを得ることができる。

#### 【0015】

また、上記方法又は装置において、データベースは、実際のプラズマ処理を行うプラズマ処理装置とは別のデータベース作成手段により作成されるものであってもよい。これにより、データベースの作成に必要なトレーニングウエハの処理や独立成分分析の処理など、時間がかかる処理を当該プラズマ処理装置とは別の同種のプラズマ処理装置によって行うことにより、プラズマ処理装置の負担を軽

減できる。また同種のプラズマ処理装置で同様のプロセス条件の処理を行うすべての装置に同じデータベースを適用できるので、データベースの作成に要する負担を相対的に著しく軽減することができる。

#### 【 0 0 1 6 】

また、上記方法又は装置において、各発光種の定量データを求める工程又は手段は、プラズマ処理により取得した発光スペクトルの光学的データと、前記データベースからの各発光種の基準データとの内積をそれぞれ求め、各内積値を各発光種の定量データとしてもよい。これにより、各発光種に対応する内積値の変化を監視するだけで、エッチング終点やプラズマ安定の判断を行うことができるので、より簡単且つ正確に装置の運転状態、被処理体の処理状態などの監視を行うことができる。

#### 【 0 0 1 7 】

また、上記方法又は装置において、プラズマ処理装置の運転状態を判断する工程又は手段は、プラズマ処理装置によりプラズマ処理を開始してから、前記各発光種の定量データが一定になったときに前記プラズマ処理装置の運転状態が安定したと判断するようにしてもよい。これにより、処理室内のプラズマが安定したか否かの判断をより簡単且つより正確に行うことができる。

#### 【 0 0 1 8 】

また、上記方法又は装置において、前記被処理体の処理状態を判断する工程は、前記各発光種の定量データの変化に基づいて前記被処理体に対するプラズマ処理が終了したことを判断するようにしてもよい。これにより、例えばエッチング終点などの判断をより簡単且つ正確に行うことができる。

#### 【 0 0 1 9 】

#### 【発明の実施の形態】

以下に添付図面を参照しながら、本発明にかかるプラズマ処理装置の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

#### 【 0 0 2 0 】

(プラズマ処理装置の構成)

図 1 は、本発明の実施形態にかかるプラズマ処理装置 1 0 0 を示す概略構成図である。プラズマ処理装置 1 0 0 は、例えばアルミニウム製の処理室 1 0 1 と、この処理室 1 0 1 内に配置された下部電極 1 0 2 を絶縁材 1 0 2 A を介して支持する昇降可能なアルミニウム製の支持体 1 0 3 と、この支持体 1 0 3 の上方に配置され且つプロセスガスを供給し且つ上部電極を兼ねるシャワーヘッド 1 0 4 とを備えている。

【 0 0 2 1 】

上記処理室 1 0 1 は上部が小径の上室 1 0 1 A として形成され、下部が大径の下室 1 0 1 B として形成されている。上室 1 0 1 A はダイポールリング磁石 1 0 5 によって包囲されている。このダイポールリング磁石 1 0 5 は複数の異方性セグメント柱状磁石がリング状の磁性体からなるケーシング内に収納されてい形成され、上室 1 0 1 A 内で全体として一方向に向かう一様な水平磁界を形成する。

【 0 0 2 2 】

下室 1 0 1 B の上部にはウエハ W を搬出入するための出入口が形成され、この出入口にはゲートバルブ 1 0 6 が取り付けられている。また、下部電極 1 0 2 には整合器 1 0 7 A を介して高周波電源 1 0 7 が接続され、この高周波電源 1 0 7 から下部電極 1 0 2 に対して 1 3 . 5 6 M H z の高周波電力 P を印加し、上室 1 0 1 A 内で上部電極 1 0 4 との間で垂直方向の電界を形成する。この高周波電力 P は高周波電源 1 0 7 と整合器 1 0 7 A 間に接続された電力計 1 0 7 B を介して検出する。この高周波電力 P は制御可能なパラメータで、本実施形態では高周波電力 P を後述のガス流量、処理室内の圧力等の制御可能なパラメータと共に制御パラメータと定義する。

【 0 0 2 3 】

また、上記整合器 1 0 7 A の下部電極 1 0 2 側（高周波電圧の出力側）には電気計測器（例えば、V I プローブ）1 0 7 C が取り付けられ、この電気計測器 1 0 7 C を介して下部電極 1 0 2 に印加される高周波電力 P により上室 1 0 1 A 内に発生するプラズマに基づく基本波及び高調波の高周波電圧 V , 高周波電流 I , 高周波電力 P , インピーダンス Z を V I プローブデータとして検出する。

**【0024】**

また、上記整合器107Aは例えば2個の可変コンデンサC1、C2、コンデンサC及びコイルLを内蔵し、可変コンデンサC1、C2を介してインピーダンス整合を取っている。

**【0025】**

上記下部電極102の上面には静電チャック108が配置され、この静電チャック108の電極板108Aには直流電源109が接続されている。従って、高真空下で直流電源109から電極板108Aに高電圧を印加することにより静電チャック108によってウエハWを静電吸着する。

**【0026】**

この下部電極102の外周にはフォーカスリング110が配置され、上室101A内で生成したプラズマをウエハWに集める。また、フォーカスリング110の下側には支持体103の上部に取り付けられた排気リング111が配置されている。この排気リング111には複数の孔が全周に渡って周方向等間隔に形成され、これらの孔を介して上室101A内のガスを下室101Bへ排気する。

**【0027】**

上記支持体103はボールネジ機構112及びベローズ113を介して上室101Aと下室101B間で昇降可能になっている。従って、ウエハWを下部電極102上に供給する場合には、支持体103を介して下部電極102が下室101Bまで下降し、ゲートバルブ106を開放して図示しない搬送機構を介してウエハWを下部電極102上に供給する。

**【0028】**

また、支持体103の内部には冷媒配管114に接続された冷媒流路103Aが形成され、冷媒配管114を介して冷媒流路103A内で冷媒を循環させ、ウエハWを所定の温度に調整する。更に、支持体103、絶縁材102A、下部電極102及び静電チャック108にはそれぞれガス流路103Bが形成され、ガス導入機構115からガス配管115Aを介して静電チャック108とウエハW間の細隙にHeガスを所定の圧力でバックサイドガスとして供給し、Heガスを介して静電チャック108とウエハW間の熱伝導性を高めている。尚、116は

ベローズカバーである。

#### 【 0 0 2 9 】

上記シャワーヘッド 1 0 4 の上面にはガス導入部 1 0 4 A が形成され、このガス導入部 1 0 4 A には配管 1 1 7 を介してプロセスガス供給系 1 1 8 が接続されている。プロセスガス供給系 1 1 8 は、Ar ガス供給源 1 1 8 A、CO ガス供給源 1 1 8 B、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> ガス供給源 1 1 8 C 及び O<sub>2</sub> ガス供給源 1 1 8 D を有している。これらのガス供給源 1 1 8 A、1 1 8 B、1 1 8 C、1 1 8 D はバルブ 1 1 8 E、1 1 8 F、1 1 8 G、1 1 8 H 及びマスフローコントローラ 1 1 8 I、1 1 8 J、1 1 8 K、1 1 8 L を介してそれぞれのガスを所定の設定流量でシャワーヘッド 1 0 4 へ供給し、その内部で所定の配合比を持った混合ガスとして調整する。

#### 【 0 0 3 0 】

上記シャワーヘッド 1 0 4 の下面には複数の孔 1 0 4 B が全面に渡って均等に配置され、これらの孔 1 0 4 B を介してシャワーヘッド 1 0 4 から上室 1 0 1 A 内へ混合ガスをプロセスガスとして供給する。また、下室 1 0 1 B の下部の排気孔には排気管 1 0 1 C が接続され、この排気管 1 0 1 C に接続された真空ポンプ等からなる排気系 1 1 9 を介して処理室 1 0 1 内を排気して所定のガス圧力を保持している。排気管 1 0 1 C には APC バルブ 1 0 1 D が設けられ、処理室 1 0 1 内のガス圧力に即して開度が自動的に調節される。

#### 【 0 0 3 1 】

また、例えば上室 1 0 1 A の側壁には、処理室 1 内の発光を検出するための検出窓 1 2 1 が設けられ、そのすぐ外側には処理室 1 0 1 内で発生するプラズマ発光を検出する分光器（以下、「光学計測器」と称す。）1 2 0 が設けられている。光学計測器 1 2 0 は、検出窓 1 2 1 を介して処理室 1 内のプラズマからの光から 2 0 0 nm ～ 7 3 0 nm の波長帯の発光スペクトルを検出することができるようになっている。本実施形態では、光学計測器 1 2 0 によって得られる広範囲の波長帯からなる発光スペクトルを光学的データとし、この光学的データの解析結果に基づいて、例えばプラズマ状態を監視し、プラズマの安定検出やプラズマ処理の終点検出が行われる。

**【 0 0 3 2 】****(多変量解析手段の構成)**

次に、本実施の形態におけるプラズマ処理装置 1 0 0 が備える多変量解析手段を図面を参照しながら説明する。多変量解析手段 2 0 0 は例えば図 2 に示すように、例えば独立成分分析 ( I C A : Independent Component Analysis ) などの多変量解析プログラムを記憶する多変量解析プログラム記憶手段 2 0 2 , 光学計測器 1 2 0 からの信号を間欠的にサンプリングする光学的信号サンプリング手段 2 0 4 を備える。このサンプリング手段 2 0 4 でサンプリングされたデータが光学計測器 1 2 0 からの検出値となる。光学計測器 1 2 0 は、例えば 2 0 0 n m ~ 7 3 0 n m までの波長領域において 0 . 7 n m 間隔の 7 1 5 波長の光を検出する。

**【 0 0 3 3 】**

上記プラズマ処理装置 1 0 0 は、後述する各発光種の発光スペクトルを基準データとして記憶する基準データ用データベース 2 0 6 , データベース 2 0 6 の基準データに基づいて光学的データを各発光種の発光スペクトルの定量データに展開処理したり、この定量データに基づいて例えばプラズマ安定の判断やエッチング終点の判断などを行う演算手段 2 0 8 と、演算手段 2 0 8 の判断手段 2 1 6 による判断結果に基づいて所定のパラメータの設定や予測値の算出を行う演算手段 2 0 8 と、演算手段 2 0 8 からの演算信号に基づいてプラズマ処理装置 1 0 0 への制御などを行う制御手段 2 0 7 とを備える。制御手段 2 0 7 は、例えば判断手段 2 1 6 によりエッチング終点が判断されると、プラズマ処理装置 1 0 0 によるプラズマ処理を終了させる制御を行う。

**【 0 0 3 4 】**

上記多変量解析手段 2 0 0 には、プラズマ処理装置 1 0 0 を制御する制御装置 1 2 2 , 警報器 1 2 3 及び表示装置 1 2 4 がそれぞれ接続されている。制御装置 1 2 2 は例えば制御手段 2 0 7 からの信号に基づいてウエハ W の処理を継続または中断させる。表示装置 1 2 4 , 警報器 1 2 3 は、制御手段 2 0 7 からの信号に基づいて、例えばプラズマが安定した場合やエッチング終点 ( エンドポイント ) に達した場合に、その旨を表示し又は報知する。

**【 0 0 3 5 】**



演算手段 2 0 8 は、トレーニングウエハを処理したときの光学計測器 1 2 0 からの光学的データを多変量解析により各独立成分（例えば各発光種の発光スペクトルの成分）に分解する光学的データ解析手段 2 1 2 を備える。光学的データ解析手段 2 1 2 により分解された各独立成分のデータは各発光種の発光スペクトルの基準データとして基準データ用データベース 2 0 6 に記憶される。

#### 【0 0 3 6】

また演算手段 2 0 8 は、実際にテストウエハを処理したときの光学計測器 1 2 0 からの光学的データを上記基準データ用データベース 2 0 6 に記憶した各独立成分に基づいて展開処理する光学的データ展開手段 2 1 4 と、その各独立成分に関する展開データの変動に基づいて例えばプラズマの安定判断やエッチング終点の判断を行う判断手段 2 1 6 とを備える

#### 【0 0 3 7】

（光学的データ解析手段の処理）

光学的データ解析手段 2 1 2 は、多変量解析として独立成分分析（ICA：Independent Component Analysis）を行うことにより、光学的データを例えば CO , O<sub>2</sub> などの各発光種の発光スペクトルの独立成分に分解する。

#### 【0 0 3 8】

独立成分分析（ICA）は、高次の統計量、あるいは時間的な相関に基づく独立性により信号を分離する手法であり、詳しくは例えば「ICAの音響処理への応用」（池田 思朗，日本音響学会 2000年秋季研究発表会講演論文集，pp.435-438，岩手県立大学，September 2000）などに掲載されている

具体的には、独立成分分析（ICA）では、m個の原信号データをベクトルで表すと、(1-1) 式のようにになる。

#### 【0 0 3 9】

$$s(t) = (S_1(t), S_2(t), \dots, S_m(t))^T \quad \dots (1-1)$$

#### 【0 0 4 0】

ここで、t (t = 0, 1, 2...) は時刻，T は転置を表す。また，s(t) の

各成分は平均 0 で互いに独立であるとする。

【0 0 4 1】

このとき、 $n$  個のセンサで観測された観測信号データをベクトルで表すと、(1-2) 式のようにになる。

【0 0 4 2】

$$\mathbf{x}(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))^T \quad \dots (1-2)$$

【0 0 4 3】

一般に原信号データの数  $m$  とセンサの数  $n$  は必ずしも一致しないが、この問題が解けるためには、 $m \leq n$  でなければならない。

【0 0 4 4】

ここで、上記  $\mathbf{s}(t)$  と  $\mathbf{x}(t)$  との間に  $m \times n$  の実数行列  $A$  を用いて次の (1-3) 式に示すような線形関係を仮定する。

【0 0 4 5】

$$\mathbf{s}(t) = A \mathbf{x}(t) \quad \dots (1-3)$$

【0 0 4 6】

独立成分分析とは、原信号データ  $\mathbf{s}(t)$  の確率分布の形と  $A$  に関する知識を持たずに観測信号データ  $\mathbf{x}(t)$  を  $n$  個の独立な信号成分に分離することである。つまり、 $n \leq m$  ならば解は存在する。すなわち  $n \times m$  の実数行列  $W$  が存在するので、次の (1-4) 式で定まる  $\mathbf{y}(t)$  を求めることである。

【0 0 4 7】

$$\mathbf{y}(t) = W \mathbf{x}(t) \quad \dots (1-4)$$

【0 0 4 8】

ここで、 $WA = I_n$  ( $I_n$  は  $n$  次の単位行列) ならば、 $\mathbf{y}(t)$  と  $\mathbf{s}(t)$  は一致するが、 $\mathbf{y}(t)$  の成分の順番の入替えと大きさは、独立性には影響しないことから、ここではこれらの任意性は許容する。

【0 0 4 9】

上記  $y(t)$  を求めるに当り、行列  $W$  を決定することが問題となるが、これには様々な解法が提唱されている。代表的な解法としては、確率分布の独立性に基づく解法、時間構造に基づく解法がある。

【 0 0 5 0 】

例えば確率分布の独立性に基づく解法によれば、次のようになる。前提として原信号の各成分  $s_i(t)$  が正規分布でない確率分布にしたがっていると仮定する。但し、確率分布は未知である。 $y(t)$  の同時分布密度関数を (2-1) 式のように表す。

【 0 0 5 1 】

$$p(y) = p(y_1, y_2, \dots, y_n) \quad \dots (2-1)$$

【 0 0 5 2 】

行列  $W$  によって観測信号  $x(t)$  が正しく分離できたならば、 $y$  の各成分  $y_i$  は独立になり、次の (2-2) 式のように表せる。

【 0 0 5 3 】

$$p(y) = \prod_{i=1}^n p(y_i) \quad \dots (2-2) \text{ 式}$$

【 0 0 5 4 】

そこで、(2-2) 式の左辺と右辺が一致するように  $W$  を求める。評価関数としては (2-2) 式の左辺と右辺との間の K-L divergence (Kullback-Leiber divergence) を小さくするように  $W$  を求める。K-L divergence の定義は (2-3) 式に示す通りである。

【 0 0 5 5 】

$$\begin{aligned} KL(W) &= \int p(y) \log \frac{p(y)}{\prod_{i=1}^n p(y_i)} dy \\ &= -H(Y; W) + \sum_{i=1}^n H(Y_i; W) \end{aligned} \quad \dots (2-3) \text{ 式}$$

【 0 0 5 6 】

ここで、 $H(Y; W)$  は同時分布のエントロピー、 $H(Y_i; W)$  は周辺分布

のエントロピーである。これら  $H(Y; W)$ ,  $H(Y_i; W)$  は  $p(x)$  と  $W$  によってそれぞれ以下の (2-4) 式, (2-5) 式のように書き直せる。

【 0 0 5 7 】

$$H(Y; W) = H(X) + \log|W| \quad \dots (2-4) \text{ 式}$$

【 0 0 5 8 】

$$H(Y_i; W) = - \int p(x) \log p(y_i) dx \quad \dots (2-5) \text{ 式}$$

【 0 0 5 9 】

原信号データ  $s(t)$  が正規分布でないという仮定から  $KL(W)$  は,  $p(y_i)$  が互いに独立な場合に限り 0 となる。 $W$  を求めるには  $KL(W)$  の  $W$  に関する勾配を求め, 最急降下法を行えばよい。すなわち, (2-6) 式, (2-7) 式というように更新していくことで  $W$  を求められる。

【 0 0 6 0 】

$$\begin{aligned} \Delta W \alpha - \frac{\partial KL(W)}{\partial W} &= (W^T)^{-1} - E_x [\varphi(y) x^T] \quad \dots (2-6) \text{ 式} \\ &= (I - E_x [\varphi(y) y^T]) (W^T)^{-1} \end{aligned}$$

【 0 0 6 1 】

$$\varphi(y) = - \left( \frac{\partial \log p(y_1)}{\partial y_1}, \dots, \frac{\partial \log p(y_n)}{\partial y_n} \right)^T \quad \dots (2-7) \text{ 式}$$

【 0 0 6 2 】

また, 独立成分分析の別の解法である時間構造に基づく分離法としては, 例えば自己相関関数に基づく手法がある。信号がエルゴード的であるとし, 各原信号データのスペクトル密度が異なるとする。観測データの相関関数は, 原信号データの独立性より, (3-1) 式のように表せる。

【 0 0 6 3 】

$$\begin{aligned} \langle x(t)x(t+\tau)^T \rangle &= A \langle s(t)s(t+\tau)^T \rangle A^T \\ &= A \begin{pmatrix} R_{s_1}(\tau) & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & R_{s_n}(\tau) \end{pmatrix} A^T \quad \dots (3-1) \text{ 式} \end{aligned}$$

【 0 0 6 4 】

(3-1) 式において例えば左辺は  $x(t)$  の確率分布での平均を表し、 $R_{s_i}(\tau)$  は原信号データの自己相関関数である。正しく  $W$  が求まれば  $y(t)$  の相関関数は、(3-2) 式のようになる。

【 0 0 6 5 】

$$\begin{aligned} \langle y(t)y(t+\tau)^T \rangle &= \langle W A s(t) (W A s(t+\tau))^T \rangle \\ &= \begin{pmatrix} \lambda_1^2 R_{s_1}(\tau) & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \lambda_n^2 R_{s_n}(\tau) \end{pmatrix} \quad \dots (3-2) \text{ 式} \end{aligned}$$

【 0 0 6 6 】

(3-2) 式において  $1', 2', \dots, n'$  は置換の任意性を考慮したものであり、 $\lambda_i$  は大きさの任意性を考慮したものである。ノイズがなく各信号が完全に独立ならば、最適な  $W$  はすべての  $\tau$  に対して  $y(t)$  の相関関数を (3-2) 式に示すような対角行列とする。従って  $x(t)$  の相関関数を複数の時間差  $\tau_i$  に対して求め、同時に対角化する行列として  $W$  を求めることができる。

【 0 0 6 7 】

(データベース作成の手順)

次に、各発光種の発光スペクトルを基準データとして記憶するデータベース 206 を作成する手順について説明する。このデータベース 206 の作成は、光学的データ解析手段 212 により行われる。

【 0 0 6 8 】

まず、予めウエハのトレーニングセットを用いたエッチング処理の実験によってプラズマ光を光学計測器 120 により計測する。そのために例えばトレーニングセットとして 36 枚のウエハ (ベアシリコン) を用意する。尚、ベアシリコンは

、表面全面に一様に S i が形成されたウエハのことである。また、標準値としたエッチング条件は、下部電極 1 0 2 に印加する高周波電力は 1 5 0 0 W で、処理室内の圧力は 4 0 m T o r r とし、処理ガスとしては  $C_4F_8 = 10 \text{ s c c m}$ 、 $O_2 = 5 \text{ s c c m}$ 、 $CO = 50 \text{ s c c m}$ 、 $Ar = 200 \text{ s c c m}$  の混合ガスを用いた。また上部電極 1 0 4 とウエハとの間の隙間は 2 7 m m とした。

#### 【 0 0 6 9 】

この場合、実験計画法を用いて各パラメータデータを効率的に設定することができる。本実施形態では例えばエッチング条件の制御パラメータを標準値を中心に所定の範囲内で各トレーニングウエハ毎に振ってトレーニングウエハをエッチング処理する。そして、エッチング処理時に光学的データを各トレーニングウエハについて複数回ずつ計測し、その平均値を求める。

#### 【 0 0 7 0 】

ここで、制御パラメータを振る範囲は、エッチング処理を行っている時に制御パラメータが最大限変動する範囲を想定し、この想定した範囲で制御パラメータを振る。本実施形態では、高周波電力、処理室 1 内の圧力、上下両電極 1 0 2、1 0 4 間の隙間寸法及び各プロセスガス（ $Ar$  ガス、 $CO$  ガス、 $C_4F_8$  ガス及び  $O_2$  ガス）の流量を制御パラメータとして用いる。各制御パラメータの標準値はエッチング対象によって異なる。

#### 【 0 0 7 1 】

例えば、上記各トレーニングウエハのエッチング処理を行う時には各制御パラメータを標準値を中心にして下記（表 1）に示すレベル 1 とレベル 2 の範囲で各トレーニングウエハ毎に振ってトレーニングウエハのエッチング処理を行う。そして、各トレーニングウエハを処理する間に、光学計測器 1 2 0 を介して例えば 2 0 0 ~ 7 3 0 n m の波長範囲で 0. 7 n m 間隔の全 7 1 5 波長の発光スペクトル強度を光学的データとして計測する。

#### 【 0 0 7 2 】

【表 1】

	電 力	圧 力	隙 間	A r	C O	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	O <sub>2</sub>
	W	mTorr	mm	sccm	sccm	sccm	sccm
レベル 1	1400	35	25	150	30	8	2
標 準 値	1500	40	27	200	50	10	5
レベル 2	1600	50	30	280	70	12	6

## 【 0 0 7 3 】

トレーニングウエハを処理するに当たって上記各制御パラメータをベアシリコンの標準値に設定し、標準値で予め5枚のダミーウエハを処理し、プラズマ処理装置100の安定化を図る。引き続き、36枚のトレーニングウエハのエッチング処理を行う。この際、上記各制御パラメータを下記（表2）に示すようにレベル1とレベル2の範囲内で各トレーニングウエハ毎に振って各トレーニングウエハを処理する。（表2）においてL1～L18はトレーニングウエハの番号を示している。

## 【 0 0 7 4 】

【表 2】

	電 力	圧 力	隙 間	A r	C O	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	O <sub>2</sub>
NO.	W	mTorr	mm	sccm	sccm	sccm	sccm
L1	1500	40	27	200	50	10	5
L2	1500	42	25	170	64	10	4.5
L3	1500	38	29	200	36	9.5	4.5
L4	1500	40	27	230	64	9.5	3.5
L5	1540	42	27	170	50	9.5	4.5
L6	1460	38	25	170	36	9.5	3.5
L7	1500	38	27	200	50	10	4
L8	1540	38	25	230	50	10	3.5
L9	1540	38	29	230	64	10.5	4.5
L10	1460	42	29	200	64	10	3.5
L11	1500	40	29	170	50	10.5	3.5
L12	1540	40	25	200	64	9.5	4
L13	1540	42	27	200	36	10.5	3.5
L14	1500	42	25	230	36	10.5	4
L15	1460	40	27	230	36	10	4.5
L16	1460	40	25	200	50	10.5	4.5
L17	1460	42	29	230	50	9.5	3.5
L18	1500	40	27	200	50	10	4
L19	1400	40	27	200	50	10	4
L20	1600	40	27	200	50	10	4
L21	1400	40	27	150	50	10	4
L22	1500	45	27	200	50	10	4
L23	1500	40	25	200	50	10	4
L24	1500	40	30	200	50	10	4
L25	1500	40	27	120	50	10	4
L26	1500	50	27	200	50	10	4
L27	1500	40	27	200	30	10	4
L28	1500	40	27	200	70	10	4
L29	1500	40	27	200	50	8	4
L30	1500	40	27	200	50	12	4
L31	1400	35	27	200	50	10	2
L32	1600	50	27	200	50	10	6
L33	1400	50	25	200	50	10	4
L34	1600	50	30	200	50	10	4
L35	1400	40	27	120	50	10	4
L36	1600	40	27	280	50	10	4



## 【0075】

次に、各トレーニングウエハについて光学計測器120から得た複数の光学的データに対して独立成分分析を行って、これら光学的データを複数の独立成分に分離する。具体的には、各トレーニングウエハについての光学的データのスペクトルをデータ1～データ*i*とし、各光学的データの波長の数をセンサの数 $\lambda_m$ として、上記(1-2)式の $x(t)$ に当てはめると、次の(4-1)式に示すようになる。なお、時間*t*は、ウエハの枚数と等価である。

## 【0076】

$$x(t) = (x_{\lambda_1}(t), x_{\lambda_2}(t), \dots, x_{\lambda_m}(t))^T = \begin{pmatrix} x_{\lambda_1}(0) x_{\lambda_2}(0) \cdots x_{\lambda_m}(0) \\ x_{\lambda_1}(1) x_{\lambda_2}(1) \cdots x_{\lambda_m}(1) \\ \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ x_{\lambda_1}(i) x_{\lambda_2}(i) \cdots x_{\lambda_m}(i) \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} (\text{データ1のスペクトル}) \\ (\text{データ2のスペクトル}) \\ \vdots \\ (\text{データ}i\text{のスペクトル}) \end{pmatrix}^T \quad \dots (4-1)$$

## 【0077】

上記の例では、トレーニングウエハはL1～L36の36枚、光学的データの波長の数は712なので、(4-1)式において*i*=36、 $\lambda_m=712$ となる。

## 【0078】

また、本実施の形態においては、 $WA = I_n$  ( $I_n$ は*n*次の単位行列)とするので、 $y(t)$ と*s*(*t*)は一致するため、上記(1-4)式における*y*(*t*)は、(4-2)式に示すようになる。

## 【0079】

$$s(t) = y(t) = (y_{\lambda_1}(t), y_{\lambda_2}(t), \dots, y_{\lambda_m}(t))^T = \begin{pmatrix} y_{\lambda_1}(0) y_{\lambda_2}(0) \cdots y_{\lambda_m}(0) \\ y_{\lambda_1}(1) y_{\lambda_2}(1) \cdots y_{\lambda_m}(1) \\ \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ y_{\lambda_1}(i) y_{\lambda_2}(i) \cdots y_{\lambda_m}(i) \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} (\text{独立成分1}) \\ (\text{独立成分2}) \\ \vdots \\ (\text{独立成分}i) \end{pmatrix}^T \quad \dots (4-2)$$

## 【0080】

そして、上記(1-4)式に(4-1)式と(4-2)式を当てはめ、独立成

分分析により上記（1－4）式における行列Wを求めることにより独立成分が決定される。なお、独立成分の数は、自由に決めることができる。しかしながら、上記（1－4）式に鑑みれば、独立成分の数は最大  $i$  個以下の範囲で決定する必要がある。

#### 【0 0 8 1】

次に、例えば独立成分の数を9個として独立成分分析を行って光学的データを分離した場合の結果を図面を参照しながら説明する。先ず、光学計測器で計測したプラズマの発光スペクトルの光学的データ、すなわち独立成分分析を行う前の光学的データをグラフにしたものを図3に示す。この図3では横軸には波長をとり、縦軸には各波長の平均発光強度をとっている。独立成分分析からは、光学的データは独立した複数の発光種のスペクトルが混ざっていると考えられる。

#### 【0 0 8 2】

図3に示す光学的データに対して独立成分分析を行って、この光学的データを第1成分～第9成分までの9個の独立成分に分離したものを図4～図6に示す。図4～図6において横軸には波長をとり、縦軸には発光強度をとっている。

#### 【0 0 8 3】

これらの各独立成分は、各発光種の発光スペクトルに相当するものと考えられる。例えば図4（a）に示す第1成分は主として $O_2$ ガスに関連する発光種の発光スペクトルに相当し、図4（b）に示す第2成分は主としてCF系ガスに関連する発光種の発光スペクトルに相当し、図4（c）に示す第3成分は主としてCOガスに関連する発光スペクトルに相当するものと考えられる。

#### 【0 0 8 4】

ここで、独立成分の他の例として、ベアウエハにプラズマ処理したときに得られた光学的データに対して独立成分の数を8個として独立成分分析を行った場合のある独立成分を、既知の処理ガスによりプラズマ処理を行ったときに得られた発光スペクトルのデータと比較したグラフを図7、図8に示す。図7において点線で示すグラフは既知の処理ガスとして $CO_2$ ガスを使用してプラズマ処理を行ったときに得られた光学的データであり、実線で示すグラフはある独立成分のデータである。図8において点線で示すグラフは既知の処理ガスとして $O_2$ ガスを

使用してプラズマ処理を行ったときに得られた光学的データであり、実線で示すグラフは上記とは別の独立成分のデータである。

#### 【 0 0 8 5 】

図 7 を見ると、点線で示す  $\text{CO}_2$  ガスのデータと独立成分のデータとは発光強度の特性がほぼ一致しており、同様の特性を有していることがわかる。例えば点線で示す  $\text{CO}_2$  ガスのデータは、波長帯 2 8 0 nm ~ 3 2 0 nm あたりにピークが見られ、これらのピークは独立成分のデータとほぼ一致している。

#### 【 0 0 8 6 】

図 8 を見ても、点線で示す  $\text{O}_2$  ガスのデータと独立成分のデータとは発光強度の特性が概ね一致している。但し、図 8 においては相違している部分もある。例えば点線で示す  $\text{O}_2$  ガスのデータは、波長帯 2 8 0 nm ~ 3 2 0 nm あたりにピークが見られるが、独立成分のデータにはピークが見られない。ところが、このピークは上述した図 7 において点線で示す  $\text{CO}_2$  ガスのデータとは一致する。これは  $\text{O}_2$  ガスのみを使用してもプラズマ処理による炭素を含む堆積物などと反応して  $\text{CO}_2$  ガスが発生するからと考えられる。

#### 【 0 0 8 7 】

このことは、また独立成分分析により得られた独立成分が、他のガスを含まない  $\text{O}_2$  ガスのみの発光スペクトルのデータに相当することを意味しているとも考えられる。つまり、既知のガスでプラズマ処理を行っても実際には他のガスが発生してしまうことがあるので、その既知のガスの発光種の発光スペクトルデータだけを検出することはできないが、独立成分分析によればその発光種の発光スペクトルのデータが得られるのである。

#### 【 0 0 8 8 】

このように、本実施形態において独立成分分析により得られた各独立成分は、各発光種の発光スペクトルに相当するものと考えられる。従って、上記光学的データに対して独立成分分析を行うことにより得られた各独立成分は、各発光種の発光スペクトルの基準データとしてデータベース 2 0 6 に記憶する。こうして各発光種の発光スペクトルを基準データとしたデータベース 2 0 6 が作成される。

#### 【 0 0 8 9 】

このように、データベースを作成する場合に、各発光種の発光スペクトルが混合した光学的データを各発光種の発光スペクトルに分離するため、光学的データにノイズが混入していたとしても、ノイズの影響を受けることなくデータベースを作成することができる。特に独立成分分析を利用することにより、ノイズの影響をより効果的になくすることができる。

#### 【0 0 9 0】

また、実際のプラズマ処理では、単一の処理ガスをプラズマ化しても、処理室内での反応などにより他の発光種が発生して混ざってしまうことが多いため、各発光種の発光スペクトルを光学計測器などで直接検出するのは困難である。これに対して、本発明では、光学的データに対して独立成分分析を行って得られた独立成分を各発光種の発光スペクトルの基準データとすることにより、発光スペクトルを直接計測しただけでは得られない各発光種の発光スペクトルを得ることができる。

#### 【0 0 9 1】

なお、プラズマ処理装置 1 0 0 とは別のデータベース作成手段、例えば別の同種のプラズマ処理装置を用いてデータベースを作成し、そのデータベースのみを基準データ用データベース 2 0 6 に記憶させるようにしてもよい。これにより、データベースの作成に必要なトレーニングウエハの処理や独立成分分析の処理などの時間がかかる処理を当該プラズマ処理装置とは別の同種のプラズマ処理装置によって行わせることができるので、プラズマ処理装置 1 0 0 の負担を軽減できる。また同種のプロセス装置で同様のプロセス条件の処理を行うすべての装置に同じデータベースを適用できるので、データベースの作成に要する負担を相対的に著しく軽減することができる。さらに、上記基準データ用データベース 2 0 6 は、種々の活性種の発光スペクトルを開示した公知の文献データに基づいて作成してもよい。

#### 【0 0 9 2】

(実際のウエハの処理)

次に、半導体装置の製造などのために実際のウエハに対してプラズマ処理を行う場合にプラズマ処理装置の運転状態やウエハの処理状態を監視する方法につい

て説明する。

### 【0 0 9 3】

先ずプラズマ処理装置 1 0 0 において実際のウエハ（ここでは「テストウエハ」と称する。）をプラズマ処理する毎に、多変量解析手段 2 0 0 は光学計測器 1 2 0 によりプラズマの発光スペクトルを計測し、この発光スペクトルを光学的信号サンプリング手段 2 0 4 を介して光学的データとして取得する。

### 【0 0 9 4】

そして、この光学的データは、演算手段 2 0 8 の光学的データ展開手段 2 1 4 によりデータベース 2 0 6 の基準データを用いて展開処理される。光学的データ展開手段 2 1 4 は、例えばデータベース 2 0 6 に記憶された独立成分である各発光種のスペクトルの基準データを用いて、光学的データを各発光種の発光スペクトルの定量データに分離する。

### 【0 0 9 5】

具体的には、プラズマ処理により取得した発光スペクトルの光学的データと、データベース 2 0 6 からの各発光種の基準データとの内積をそれぞれ求め、各内積値を各発光種の定量データとする。例えば、あるウエハ（ $t = 0$ ）をプラズマ処理したときの光学的データを  $x(0)$  とし、(5-1) 式に示す。この  $x(0)$  について独立成分 1（例えば  $O_2$  関連の成分）の定量データを求めたいときには、光学的データ  $x(t)$  とデータベース 2 0 6 に記憶されている独立成分 1 である (5-2) 式に示す  $y(0)$  との内積値  $P(0)$  を算出する。内積値  $P(0)$  の演算は (5-3) 式に示す。

### 【0 0 9 6】

$$x(0) = (x_{\lambda 1}(0), x_{\lambda 2}(0), \dots, x_{\lambda m}(0)) \quad \dots (5-1)$$

### 【0 0 9 7】

$$y(0) = (y_{\lambda 1}(0), y_{\lambda 2}(0), \dots, y_{\lambda m}(0)) \quad \dots (5-2)$$

### 【0 0 9 8】

$$P(0) = x(0) \cdot y(0)^T$$

$$= x_{\lambda 1}(0) \cdot y_{\lambda 1}(0) + x_{\lambda 2}(0) \cdot y_{\lambda 2}(0) + \dots + x_{\lambda m}(0) \cdot y_{\lambda m}(0) \quad \dots (5-3)$$

## 【0099】

独立成分分析（ICA）においては、光学的データは独立成分の集合体であると仮定しているので、光学的データとある独立成分との内積を算出することによりその独立成分についての値だけが残し、他の成分はすべて0になる。これにより、光学的データとある独立成分との内積値は、その独立成分の定量データとなる。

## 【0100】

このような各独立成分に対応する内積値などの定量データを監視し、定量データの変化に基づいて、プラズマ処理装置の運転状態および／または被処理体の処理状態を監視する。プラズマ処理装置の運転状態の監視としては、例えば定量データの変化が一定となったところでプラズマが安定したと判断する。また被処理体の処理状態の監視としては、例えば各独立成分に対応する内積値の変化が所定の挙動を示したところでエッチング終点（エンドポイント）を判断する。この場合、プラズマ処理装置の運転状態および／または被処理体の処理状態がどのような状態であるときに、各独立成分に対応する内積値がどのように変化するかを予め実験等により検討しておき、変化する傾向や突出した点を見るなどして判断基準を設定するようにしてもよい。これにより、各発光種に対応する内積値の変化を監視するだけで、エッチング終点やプラズマ安定の判断を行うことができるので、より簡単且つ正確に装置の運転状態、被処理体の処理状態などの監視を行うことができる。

## 【0101】

ここで、プラズマ処理装置の運転状態を監視する場合の具体例について図面を参照しながら説明する。図9は、1枚のウエハをプラズマ処理し、時間tごとに取得した光学的データを示す。図9は、光学的データの大局的な時間的变化を見るため、代表的な時間（time1～time5）における光学的データを横軸に波長（nm）をとり、縦軸に発光強度をとって表したものである。図9によれば、プラ

ズマ処理を開始した直後 (time 1, time 2) にはそれほどの変化はないが、その後大きく変化し始め (time 3) , ある程度の時間が経つとあまり変化しなくなる (time 4, time 5) 。

#### 【 0 1 0 2 】

図 1 0 は、1 枚のウエハをプラズマ処理し、時間 t ごとに取得した光学的データとデータベース 2 0 6 に記憶された各独立成分との内積を求め、各独立成分に対応する内積値をグラフにしたものである。図 1 0 は横軸に時間 t (秒) をとり、縦軸に内積値をとっている。ここでは独立成分の数は 9 個とした。また、このときのプラズマ処理はベアシリコンのエッチングである。エッチング条件としては、例えば下部電極 1 0 2 に印加する高周波電力は 1 5 0 0 W で、処理室内の圧力は 4 0 m T o r r とし、処理ガスとしては  $C_4F_8 = 10 \text{ s c c m}$  ,  $O_2 = 4 \text{ s c c m}$  ,  $CO = 50 \text{ s c c m}$  ,  $Ar = 200 \text{ s c c m}$  の混合ガスを用いた。また上部電極 1 0 4 とウエハとの間の隙間は 2 7 mm とした。

#### 【 0 1 0 3 】

図 1 0 によれば、各独立成分に対応する内積値 (第 1 成分～第 9 成分) は、プラズマ処理を開始してから略 1 2 秒くらいまでは大きく変化し、1 2 秒を越えるとあまり変化しなくなる。これはプラズマは処理を開始してから略 1 2 秒くらいで安定するからである。従って、各独立成分に対応する内積値を監視し、この内積値があまり変化しなくなったところを検出することで、プラズマが安定したことがわかる。

#### 【 0 1 0 4 】

具体的には判断手段 2 1 6 は、光学的データ展開手段 2 1 4 により次々と算出された内積値を監視し、現在の内積値と次の内積値との差が所定値以下になったか否かを判断し、所定値以下になったと判断したときにプラズマ処理装置内のプラズマが安定したと判断する。なお、現在の内積値と次の内積値との比を求めて、この比が略 1 となったと判断したときにプラズマ処理装置内のプラズマが安定したと判断してもよい。これにより、例えばエッチング終点や処理室内のプラズマが安定したか否かの判断をより簡単且つより正確に行うことができる。

#### 【 0 1 0 5 】

このような本実施形態におけるプラズマ処理装置においては、ウエハに対してプラズマ処理を行う際にプラズマから発光された発光スペクトルを光学計測器 1 2 0 により光学的データとして取得する。そして、演算手段 2 0 8 の光学的データ展開手段 2 1 4 により、複数の発光種の発光スペクトルを基準データとして記憶したデータベース 2 0 6 からの各発光種の基準データを用いて、取得した光学的データから各発光種の定量データを求める。次いで、判断手段 2 1 6 により各発光種の定量データを監視し、各発光種の定量データの変化に基づいてプラズマ処理装置 1 0 0 の運転状態および／または被処理体の処理状態を判断する。

#### 【0 1 0 6】

このように、複数の発光種の発光スペクトルからなる基準データを用いるので、単に特定の波長のデータを用いる場合に比してより広範囲の波長帯のデータに基づいて例えばエッチング終点の判断、プラズマ処理装置の処理室内でプラズマが安定したか否かの判断を行うことが可能となる。このため、例えば半導体ウエハ上に開口率のさらに小さいホールなどを形成する場合のように半導体装置をさらに微細化する場合にも、エッチング終点の判断、プラズマ処理装置の処理室内でプラズマが安定したか否かの判断などを正確に行うことができる。これにより、プラズマ処理装置の運転状態や被処理体の処理状態の監視精度を向上させることができる。

#### 【0 1 0 7】

また、各発光種の発光スペクトルが混合した光学的データを各発光種の定量データに分離して、各定量データに基づいてエッチング終点やプラズマ安定の判断を行うため、例えば光学的データにノイズが混入していたとしても、ノイズの影響を受けることなくプラズマ処理装置の運転状態や被処理体の処理状態の判断を行うことができる。これによっても、プラズマ処理装置の運転状態や被処理体の処理状態の監視精度を向上させることができる。

#### 【0 1 0 8】

さらに、プラズマ処理を行う際にプラズマから発光された発光スペクトル（光学的データ）を取得し、データベースに記憶された各発光種の発光スペクトル（基準データ）に基づいて各発光種の定量データを求め、これによりプラズマ処理



装置の運転状態などを判断するため、プラズマ処理を行う際にリアルタイムにプラズマ処理装置の運転状態や被処理体の処理状態の判断を行うことができる。

#### 【0 1 0 9】

以上、添付図面を参照しながら本発明に係る好適な実施形態について説明したが、本発明は係る例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

#### 【0 1 1 0】

例えば、上記プラズマ処理装置 1 0 0 としては、平行平板型のプラズマエッチング装置に限られず、処理室内にプラズマを発生させるヘリコン波プラズマエッチング装置、誘導結合型プラズマエッチング装置等に適用してもよい。また、上記実施の形態では、ダイポールリング磁石を用いたプラズマ処理装置に適用した場合について説明したが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えばダイポールリング磁石を用いず上部電極と下部電極に高周波電力を印加してプラズマを発生させるプラズマ処理装置に適用してもよい。

#### 【0 1 1 1】

##### 【発明の効果】

以上詳述したように本発明によれば、プラズマが安定したか否かなどのプラズマ処理装置の運転状態の判断、エッチング終点などの被処理体の処理状態の判断の精度を向上させることができるプラズマ処理方法およびプラズマ処理方法を提供できるものである。

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【図 1】

本発明の実施形態にかかるプラズマ処理装置を示す概略構成図である。

##### 【図 2】

本実施形態における多変量解析手段の 1 例を示すブロック図である。

##### 【図 3】

同実施形態における光学計測器で計測したプラズマの発光スペクトルの光学的

データをグラフにした図である。

【図 4】

同実施形態における独立成分のデータをグラフにした図である。

【図 5】

同実施形態における独立成分のデータをグラフにした図である。

【図 6】

同実施形態における独立成分のデータをグラフにした図である。

【図 7】

既知の処理ガス（ $\text{CO}_2$ ）によりプラズマ処理を行ったときに得られた発光スペクトルのデータとある独立成分との比較を示す図。

【図 8】

既知の処理ガス（ $\text{O}_2$ ）によりプラズマ処理を行ったときに得られた発光スペクトルのデータとある独立成分との比較を示す図。

【図 9】

同実施形態における 1 枚のウエハをプラズマ処理したときにプラズマから計測された発光スペクトルの時間的变化をグラフにした図。

【図 1 0】

同実施形態における各独立成分に対応する内積値の時間変化をグラフにした図。

【符号の説明】

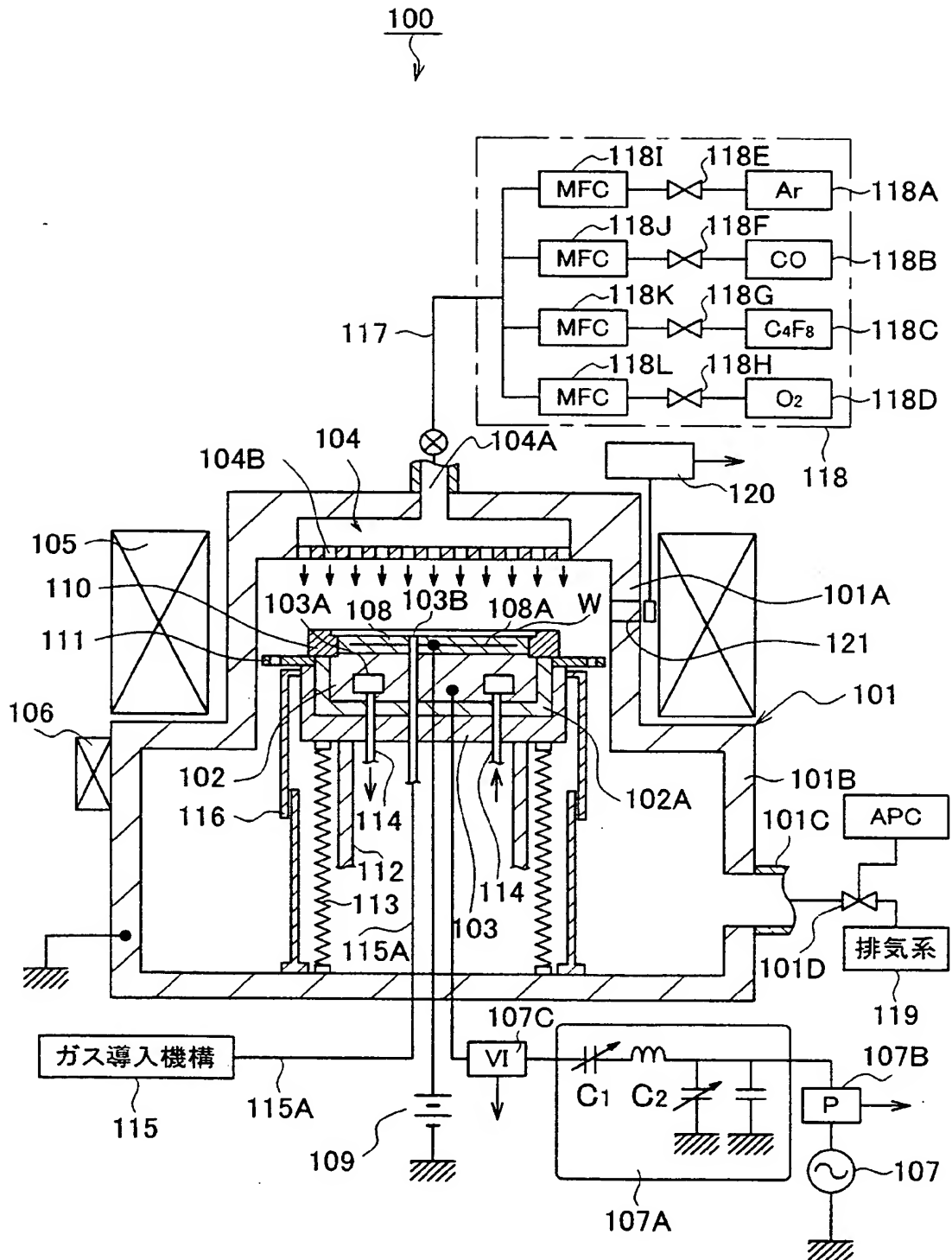
1 0 0	プラズマ処理装置
1 0 1	処理室
1 0 2	下部電極
1 0 3	支持体
1 0 4	シャワーヘッド
1 0 4	上部電極
1 0 5	ダイポールリング磁石
1 0 6	ゲートバルブ
1 0 7	高周波電源

1 0 8	静電チャック
1 0 9	直流電源
1 1 0	フォーカスリング
1 1 1	排気リング
1 1 2	ボールネジ機構
1 1 4	冷媒配管
1 1 5	ガス導入機構
1 1 7	配管
1 1 8	プロセスガス供給系
1 1 9	排気系
1 2 0	光学計測器
1 2 1	検出窓
1 2 2	制御装置
1 2 3	警報器
1 2 4	表示装置
2 0 0	多変量解析手段
2 0 2	多変量解析プログラム記憶手段
2 0 4	光学的信号サンプリング手段
2 0 6	基準データ用データベース
2 0 7	制御手段
2 0 8	演算手段
2 1 2	光学的データ解析手段
2 1 4	光学的データ展開手段
2 1 6	判断手段

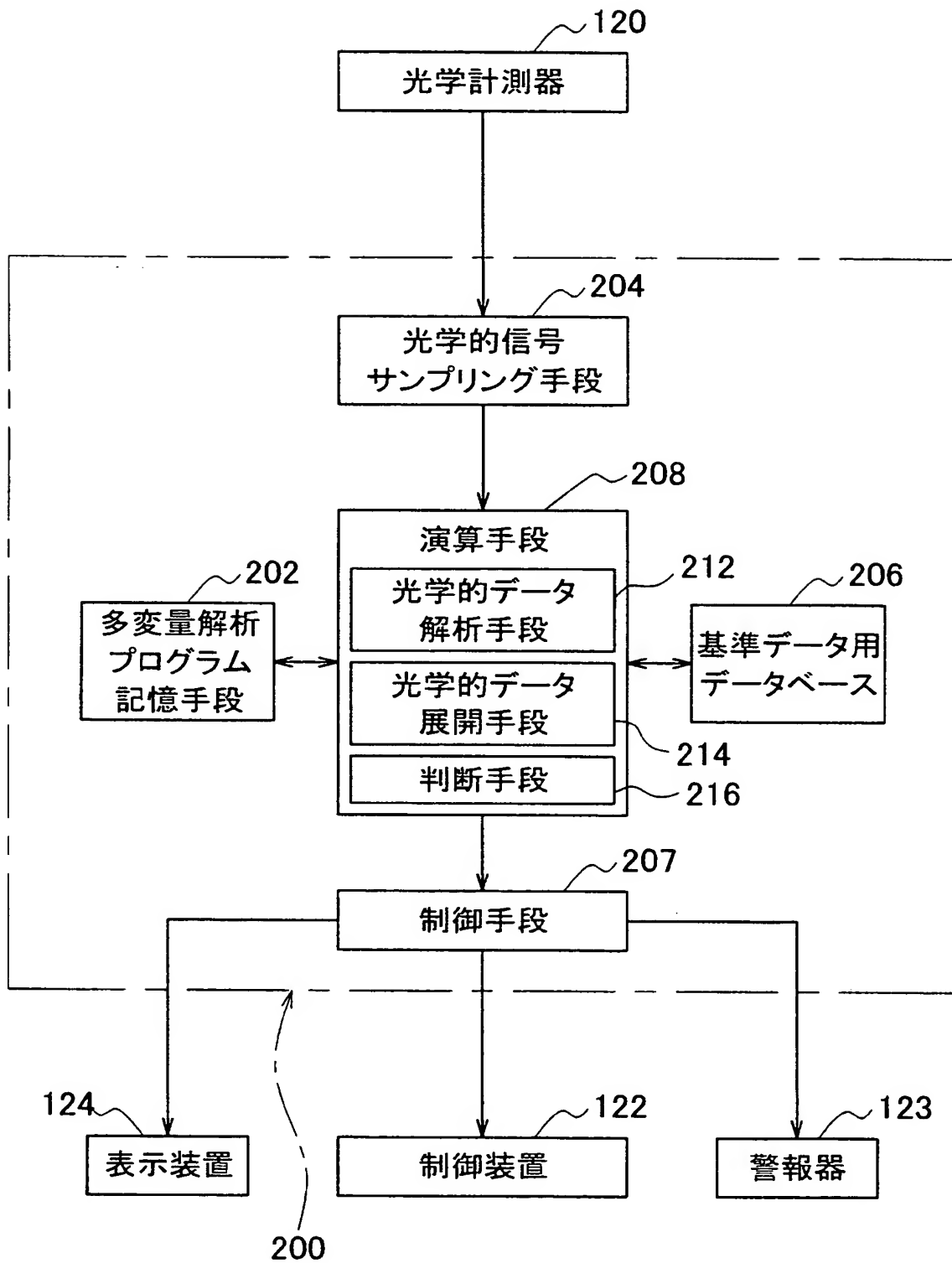
【書類名】

図面

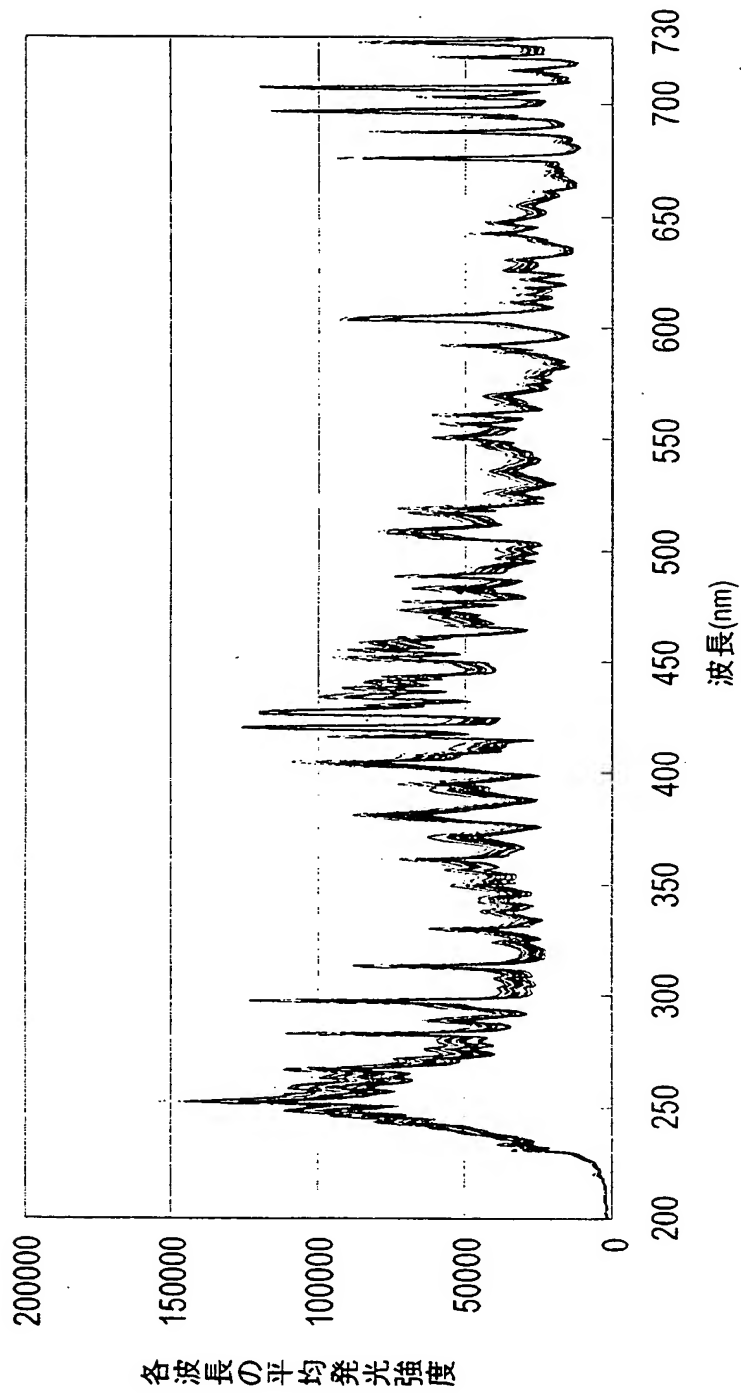
【図 1】



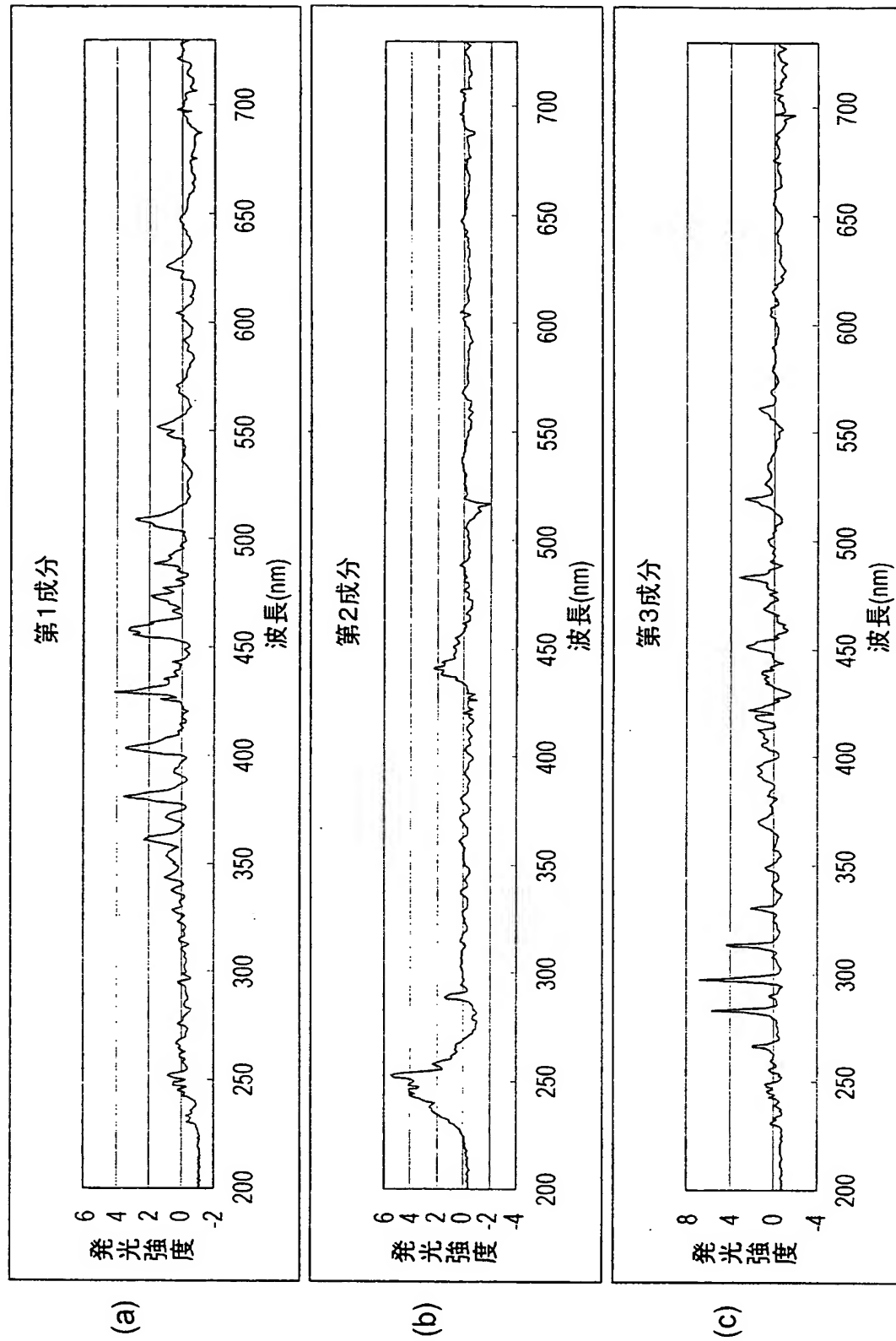
【図 2】



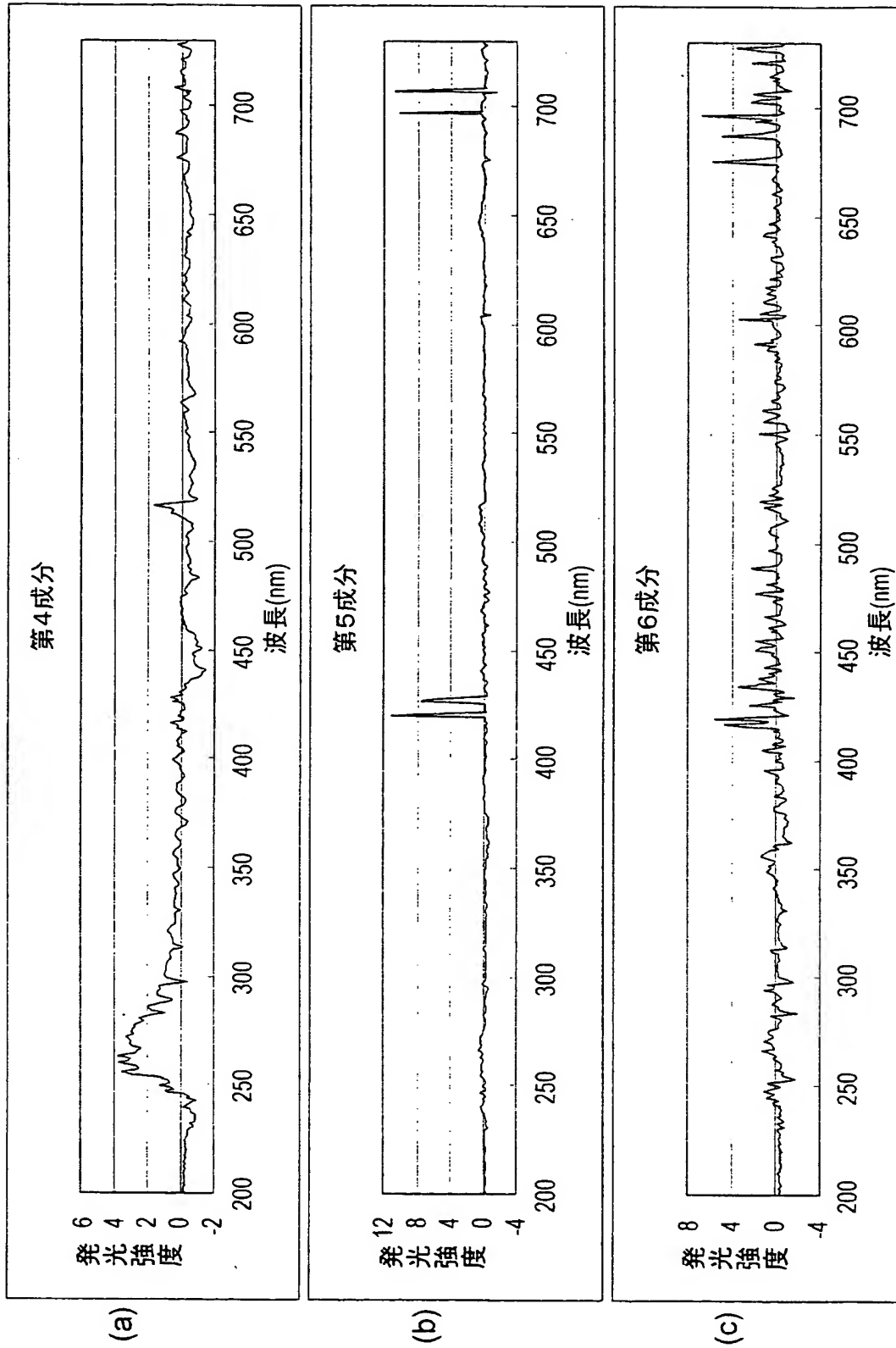
【図 3】



【図 4】

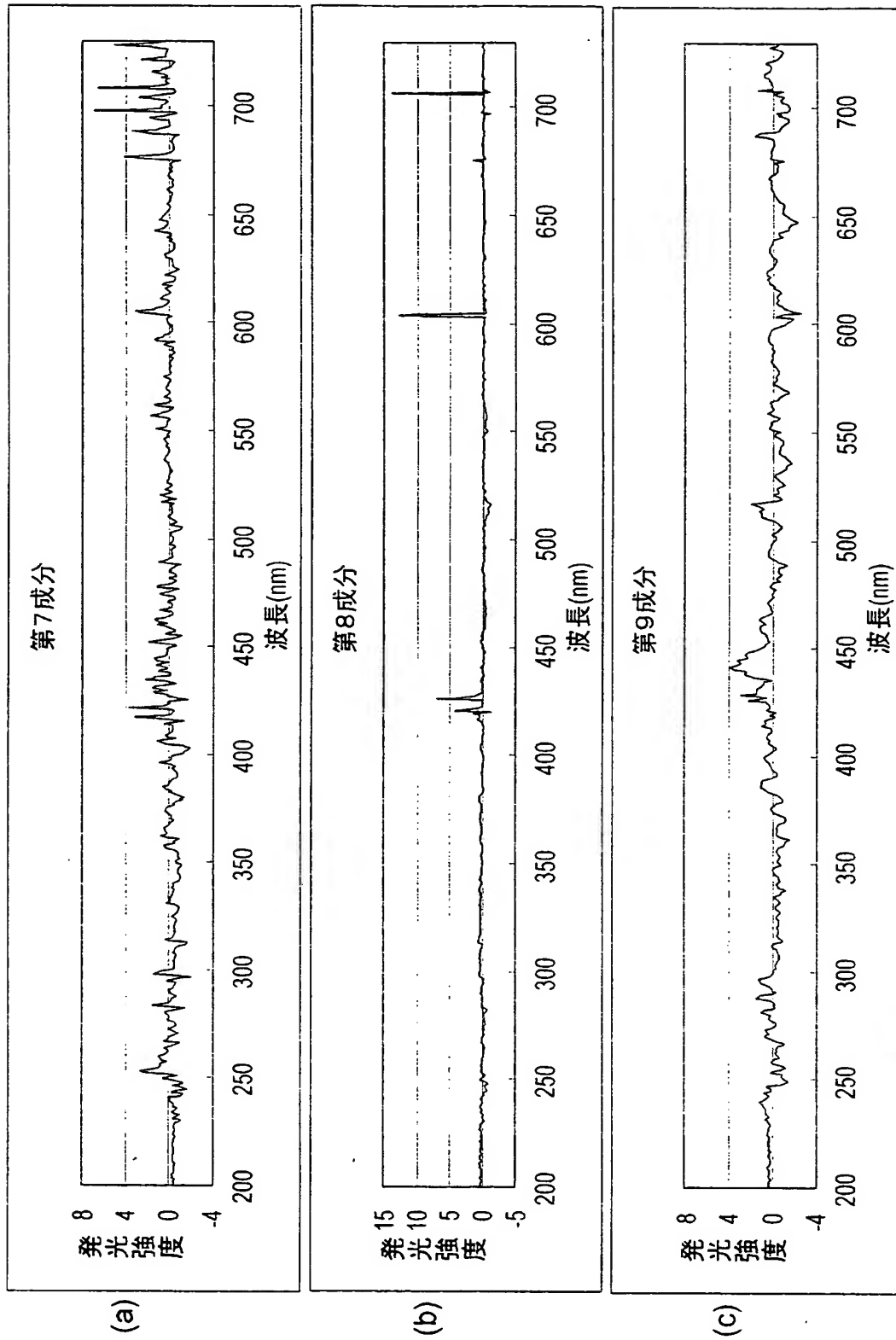


【図 5】

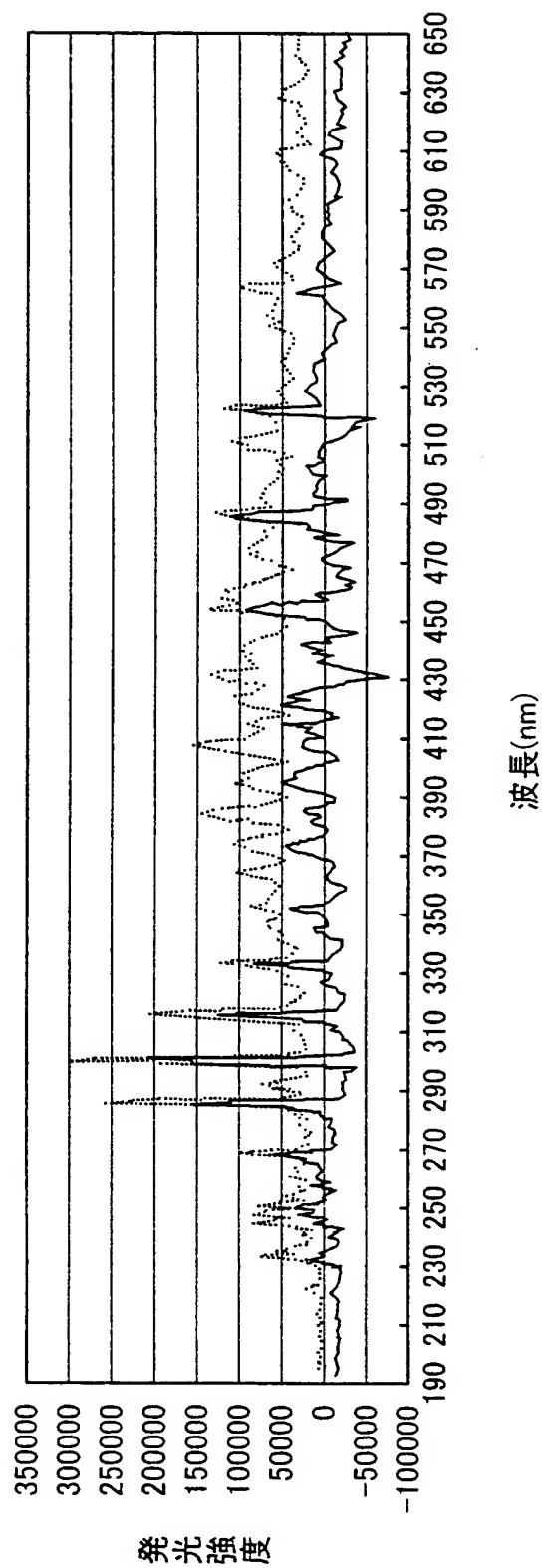




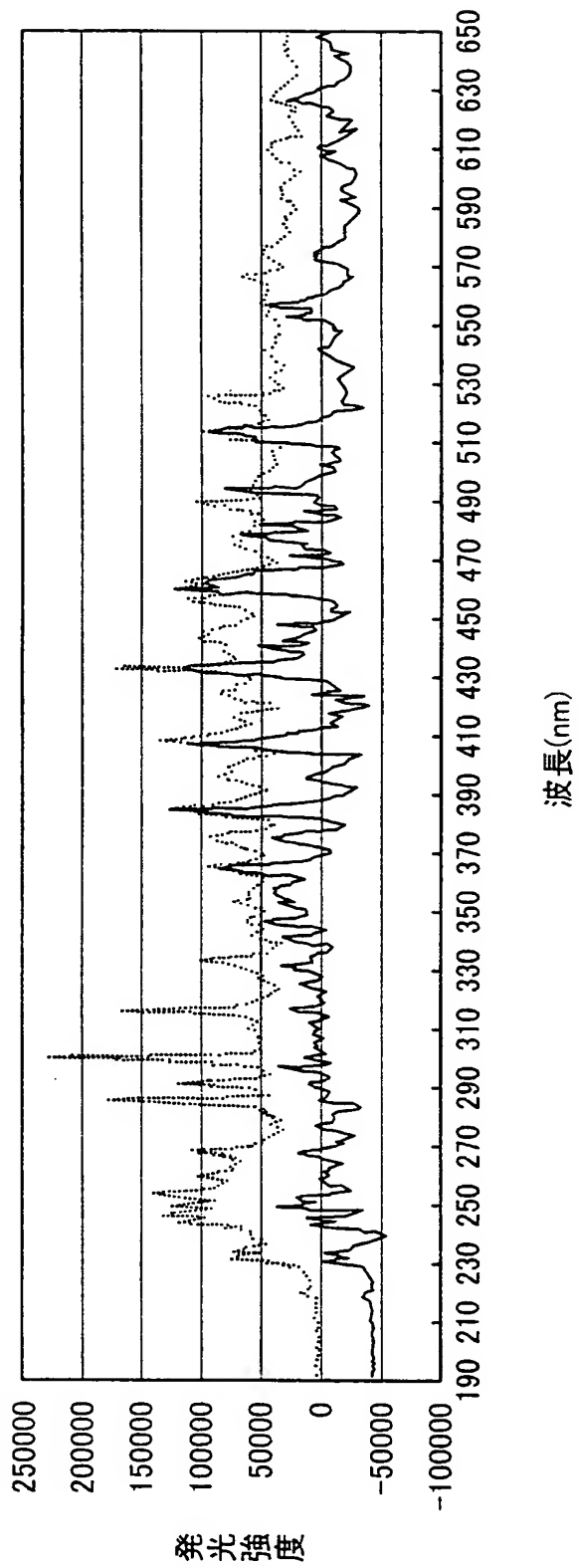
【図 6】



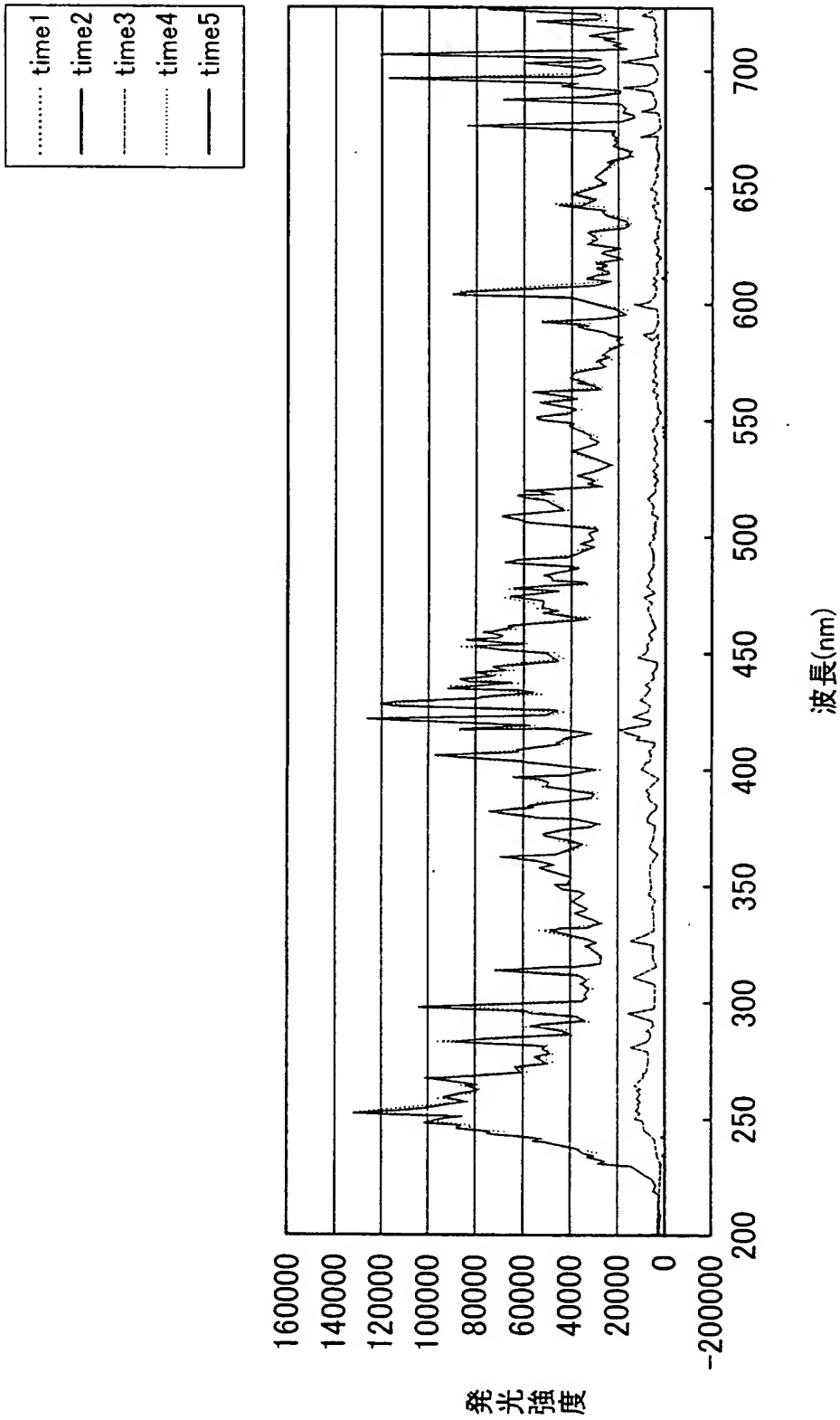
【図 7】



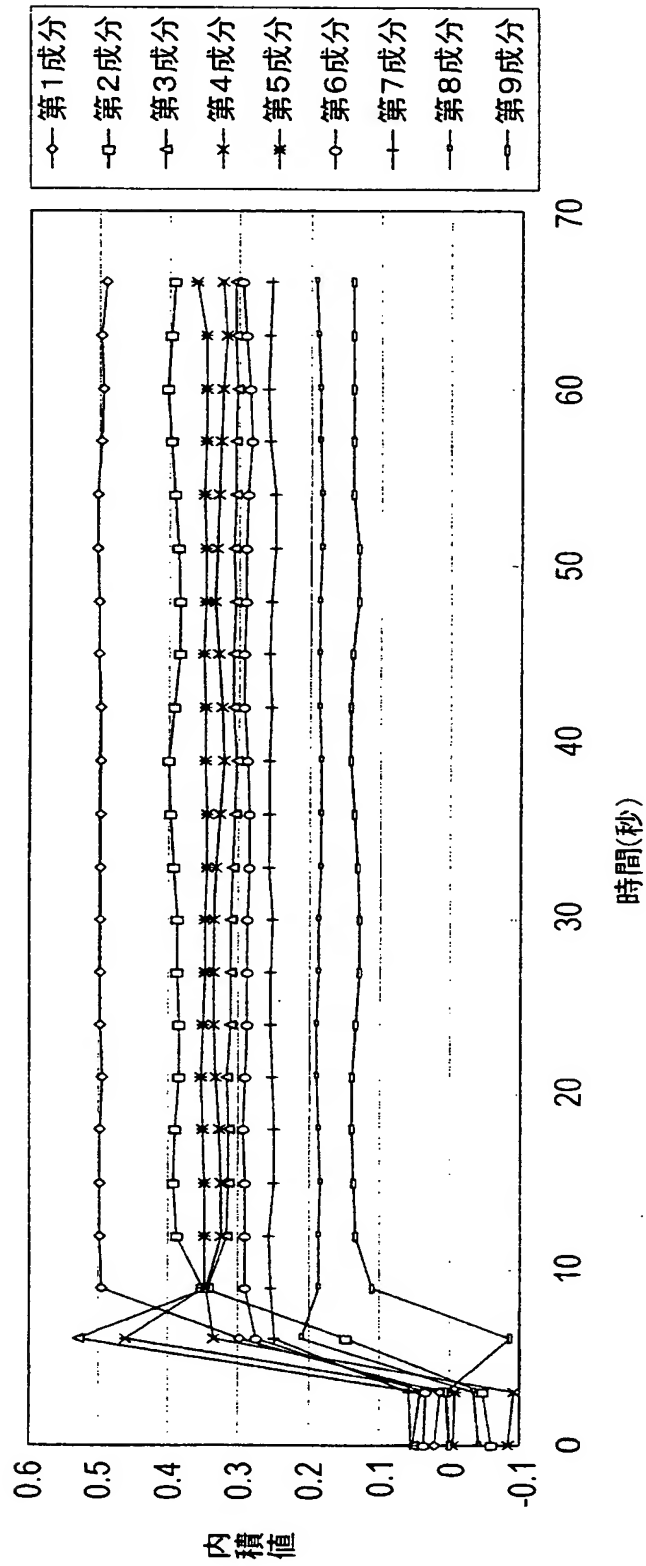
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 装置の運転状態，被処理体の処理状態を判断するときの精度を向上させる。

【解決手段】 ウエハに対してプラズマ処理を行う際にプラズマから発光された発光スペクトルを光学計測器 1 2 0 により光学的データとして取得する。そして，複数の発光種の発光スペクトルを基準データとして記憶したデータベース 2 0 6 からの各発光種の基準データを用いて，取得した光学的データから各発光種の定量データを求める。次いで，各発光種の定量データを監視し，各発光種の定量データの変化に基づいてプラズマ処理装置の運転状態，ウエハの処理状態を判断する。これにより，広範囲の波長帯からなるプラズマの発光スペクトルに基づいて，装置の運転状態，ウエハの処理状態を判断することが可能となる。

【選択図】 図 2

特願 2 0 0 2 - 3 5 3 4 5 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 2 1 9 9 6 7 ]

1. 変更年月日            1 9 9 4 年    9 月    5 日  
   [変更理由]            住所変更  
                          住 所        東京都港区赤坂 5 丁目 3 番 6 号  
                          氏 名        東京エレクトロン株式会社
  
2. 変更年月日            2 0 0 3 年    4 月    2 日  
   [変更理由]            住所変更  
                          住 所        東京都港区赤坂五丁目 3 番 6 号  
                          氏 名        東京エレクトロン株式会社